

Günther Weise und Dirk Engelhardt, Gießen

Theoretische Fahrleistungen von Lastkraftwagen und Traktorzügen

Anhand der theoretischen Fahrzeugkennwerte und statistisch ermittelter Fahrwiderstandsdichten soll versucht werden, Fahrleistungen und Einsatzmöglichkeiten sowohl für einen Lkw-Zug von 40 t zulässigem Gesamtgewicht als auch für die populäre Kombination eines Traktors mit zwei Zweiachsanhängern von je 18 t zulässigem und 40 t Zuggewicht zu vergleichen.

Als Vergleichsfahrzeuge wurden ein zweiachsiger Lkw mit dreiachsigem Anhänger sowie ein Traktor mit zwei Anhängern gewählt (Bild 1 und Bild 2). Der Lkw-Zug ist in dieser Konfiguration besonders für die Landwirtschaft interessant, da der Anhänger mit der hohen Nutzlast von 17,5 t unter ungünstigen Umständen auch mit einem Traktor gezogen werden kann. Die Grunddaten der Fahrzeuge sind in Tabelle 1 zusammengefasst:

Tab. 1: Fahrzeuge Grunddaten

Table 1: Basic data of vehicles

	Traktorzug	Lkw-Zug
Motorleistung Zugfahrzeug kW	127	290
Drehmomentanstieg %	50	20
Leergewicht Zugfahrzeug kg	7135	9000
Leergewicht Anhänger kg	8200 (2 x 4100)	6500
Zulässiges Gesamtgewicht Zugfahrzeug kg	11500	18000
Zulässiges Gesamtgewicht Anhänger kg	36000	24000
Zuladung kg	24665	24500
Getriebegänge	19	16
Anschaffungspreis Zugmaschine DM	135000	200000
Anschaffungspreis Anhänger DM	59500	80000
Gesamtpreis Zug DM	194500	280000

Ausgangspunkt der Berechnungen war jeweils das Zugkraft-Fahrgeschwindigkeitsdiagramm in der Normalform, das die freien Zugkräfte für die beiden Zugfahrzeuge in allen Gängen jeweils bezogen auf das zulässige Gesamtgewicht des Zuges zeigt (Bild 3).

Zur weiteren Beurteilung der Fahrzeuge dienten noch die Motorkennlinien, die in Bild 4 gezeigt sind, mit der Vollastlinie und der zugehörigen Verbrauchskennlinie.

Die Fahrwiderstände wurden durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen aus der Literatur [1] simuliert, die in Bild 5 dargestellt sind. Betrachtet wurden als für die Landwirtschaft interessante Straßentypen die Landstraße und der Feldweg. Mittels der Häufigkeitsverteilung der Fahrwiderstände und des Zugkraftdiagramms sowie der Vollastverbrauchslinien lassen sich Vergleichsfahrgeschwindigkeiten und -verbräuche berechnen. Da für die Berechnungen von einem permanenten Fahren auf der Vollastlinie beziehungsweise der Abregelinie ausgegangen wird, dürften die tatsächlichen Verbräuche niedriger liegen.

Auswertung der Fahrzeugdaten

Wie aus Tabelle 1 zu erkennen ist, ist eine vollständige Auslastung der möglichen Lademasse bei beiden Fahrzeugzügen nicht möglich, da dadurch das maximale Zuggewicht von 40 t überschritten würde. Beide Fahrzeuge gestatten jedoch eine Zuladung von etwa 24 t. Ein Zug mit zwei 18 t Anhängern weist allerdings eine Länge von rund 14 m auf, während das Angebot leistungsfähiger Traktoren mit einer Länge vom Kupplungspunkt bis zur Fahrzeugvorderkante von etwa 4 m beschränkt ist. Günstiger wäre hier ein Tripelachsanhänger. Diese Bauform, meist als Muldenkipper mit Zuladungen um die 22,5 t und zulässigen Gesamtgewichten von etwa 30 t, ist in Deutschland jedoch auf

Dr.-Ing. Günther Weise und Dipl.-Ing. agr. Dirk Engelhardt sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität Gießen, Braugasse 7, 35390 Gießen; e-mail: Guenther.H.Weise@agr.uni-giessen.de

Schlüsselwörter

Transport, Vergleich Lkw-Zug mit Traktor-Zug

Keywords

Transport, comparing truck and tractor transport train

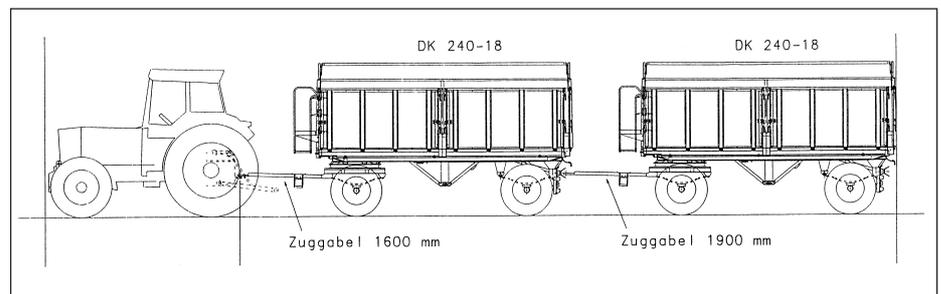


Bild 1: Zug aus Traktor und zwei Anhängern mit jeweils 18 t zulässigem Gesamtgewicht (Werkbild)

Fig. 1: Train with tractor and two trailers, each with 18 t max. permissible weight



Bild 2: Lkw-Zug mit 2-achsiger Zugfahrzeuge und dreiachsiger Anhänger jeweils mit Kippaufbau

Fig. 2: Train with two-axle truck and a three-axle trailer, each tipping construction

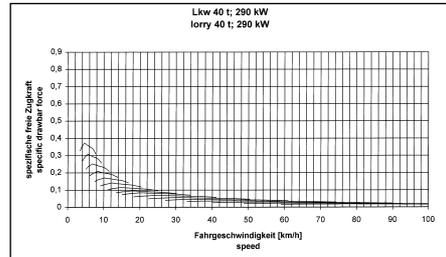
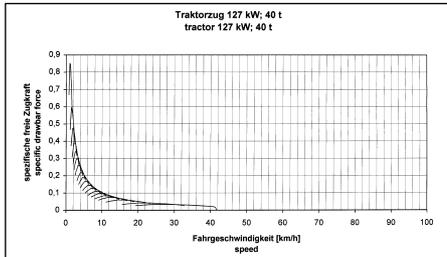


Bild 3: Spezifische Zugkraft-Fahrgeschwindigkeitsdiagramme für Traktor-Zug (links) und Lkw-Zug (rechts)

Fig. 3: Specific tractive power driving speed diagrams for tractor train (left) and for truck train (right)

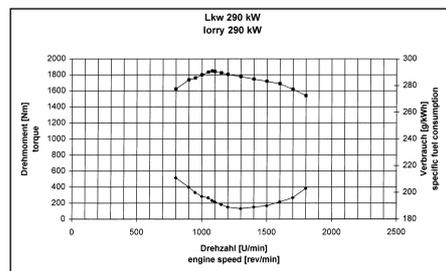
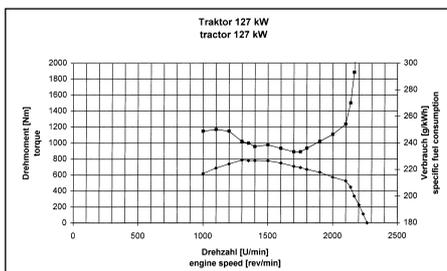


Bild 4: Vollastkennlinien und Vollastverbrauchskennlinien: Fahrgeschwindigkeitsdiagramme für Traktor (links) und Lkw (rechts); Bezug auf eine Gewichtskraft von 400 kN

Fig. 4: Full load characteristic curves and full load consumption characteristic curves - driving speed diagrams for tractor (left) and for truck (right)

ein zulässiges Gesamtgewicht von 24 t beschränkt. Damit könnten Nutzlasten in der Größenordnung von 18 t bewegt werden, sodass der Zug aus zwei 18 t Anhängern weiterhin Bedeutung behalten wird. Aus Gründen der Zuladung wird man darüber hinaus versuchen, den Traktor so wenig wie möglich zu ballastieren, doch liegen die Traktormassen in der 125 kW Klasse in der Regel um die 7 t, so dass hier vielfach nur durch Leistungsverzicht bei der Zugmaschine größere Zuladungen möglich sind.

Die Gangzahl der beiden Zugfahrzeuge ist ähnlich, doch ist die Auslegung fundamental verschieden. Der Traktor weist als Zugmaschine vor allem Gänge mit niedrigen Fahrgeschwindigkeiten und entsprechend hohen Zugkräften auf. Bei entsprechender Ballastierung könnten Zugkräfte in der Größenordnung des Zuggewichtes entwickelt werden. Die theoretische Leistungsausnutzung

ist beim Traktor aufgrund der höheren Gangzahl etwas besser; aufgrund der relativ vielen Gänge beider Getriebe ist der Unterschied aber gering. Der Lkw dagegen hat einen großen Teil seiner Gänge in höheren Übersetzungen angeordnet, die eine theoretische Fahrgeschwindigkeit von über 100 km/h erlauben würden und die bei der zulässigen Höchstgeschwindigkeit als drehzahl-senkende Schongänge wirken. Bei geringem Zugkraftbedarf kann so die Last am Motor weiter hoch gehalten werden, womit sich günstige Verbrauchswerte erreichen lassen. Gerade bei den höheren Geschwindigkeiten wirkt sich die größere Motorleistung des Lkw vorteilhaft aus, da auch dann noch Zugkraftüberschuss zur Verfügung steht. Gleichzeitig wirkt die höhere Fahrgeschwindigkeit auch verbrauchssenkend, da die gleiche Leistung im Vergleich zum Traktor bei höheren Fahrgeschwindigkeiten abgegeben wer-

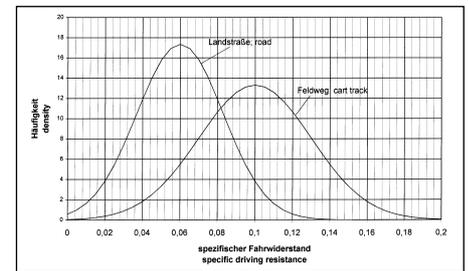


Bild 5: Angenommene Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die spezifischen Fahrwiderstände auf Landstraßen und Feldwegen

Fig. 5: Assume frequency distributions for specific traveling resistance on roads and on field roads

den kann. Die maximale Zugkraft ist auf weniger als 40 % des Zuggewichtes beschränkt, so dass sich unter Umständen Einschränkungen der Beweglichkeit in ungünstigem Gelände ergeben. Dagegen endet der nutzbare Geschwindigkeitsbereich des Traktorgetriebes bei etwa 40 km/h, und bei Transportfahrten muss teilweise auf der Abregellinie und dadurch in Kennfeldbereichen mit hohem spezifischem Verbrauch gefahren werden.

Die Motorcharakteristiken unterscheiden sich auch deutlich. So weist der Traktormotor einen sehr hohen Drehzahlanstieg von 50 % auf, der Lkw-Motor dagegen nur 20 %, was im Gangsprung dazu führt, dass beim Hochschalten der Traktormotor zunächst sogar mehr Drehmoment zur Verfügung stellt als bei Nenndrehzahl des kleineren Ganges. Darüber hinaus stellt der Motor Überleistung zu Verfügung. Das Drehzahlniveau des Lkw-Motors liegt niedriger als beim Traktor, das Drehmoment dagegen sehr viel höher, was sich natürlich auch durch die höhere Nennleistung begründet. Hier zeigt sich ein weiterer fundamentaler Unterschied in der Fahrzeugauslegung, da Traktoren mit Nennleistungen von 290 kW in Deutschland seltene Großtraktoren sind, die nur in ganz geringen Stückzahlen für den Einsatz von sehr breiten Arbeitsgeräten vorgesehen sind und in der Regel nicht für Transportaufgaben Verwendung finden. Für Lkw ist dagegen eine Motorleistung von 290 kW durchaus üblich. Der Lkw-Motor zeigt im Vollastverhalten darüber hinaus ein deutlich günstigeres Verbrauchsverhalten mit Verbräuchen in einem breiten Drehzahlband deutlich unter 200 g/kWh, während der Traktormotor deutlich höhere Werte aufweist.

Zu beachten ist der Preisunterschied der beiden Fahrzeugkombinationen von etwa 90000 DM (Tab. 1). Außerdem kann der Traktor im Gegensatz zum monofunktionalen Lkw bei nicht vollständiger Auslastung durch Transportaufgaben weitere Arbeiten im landwirtschaftlichen Betrieb überneh-

men. Wenn man eine Abschreibungsdauer von zehn Jahren zu Grunde legt, ergibt dies einen jährlichen Unterschied in den Abschreibungen zwischen 9000 und 22000 DM abhängig vom Transportanteil der Traktornutzung.

Berechnung von Vergleichskennwerten für die beiden Fahrzeugkombinationen

Die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen sind in *Tabelle 2* wiedergegeben. Wie zu erkennen ist, entsprechen die zu Grunde gelegten Fahrwiderstände sehr ungünstigen Bedingungen, da sie ursprünglich für Militärkraftfahrzeuge gedacht waren. Da der Lkw beladen ist, während der Traktor aus Zuladungsgründen unballastiert ist, kann dieser trotz einachsigen Antriebs größere Maximalzugkräfte übertragen. Das Potential des Traktors ist unballastiert verschwendet und kann nur durch Nutzlastverzicht (oder Überladen) ausgenutzt werden. Dies könnte etwa bei schlechtem Wegezustand der Fall sein, wenn Lkw-Züge steckenbleiben. Dasselbe gilt für die maximale Steigfähigkeit.

Die mittlere Fahrgeschwindigkeit des Lkw liegt deutlich über der des Traktors; hier macht sich die höhere Motorleistung bemerkbar, sowohl auf der Landstraße wie auch auf dem Feldweg. Der Traktor ist für die Transportaufgabe untermotorisiert. Unter Zugrundelegen einer Beladezeit von 5 min, einer Entladezeit von 30 min und Verlustzeiten von 20 min für einen Umlauf sowie einem Feldwegeanteil von 35 % ergeben sich für die beiden Fahrzeuge jeweils äquivalente Gutströme als Quotient aus Lademasse und Umlaufzeit über der Transport-

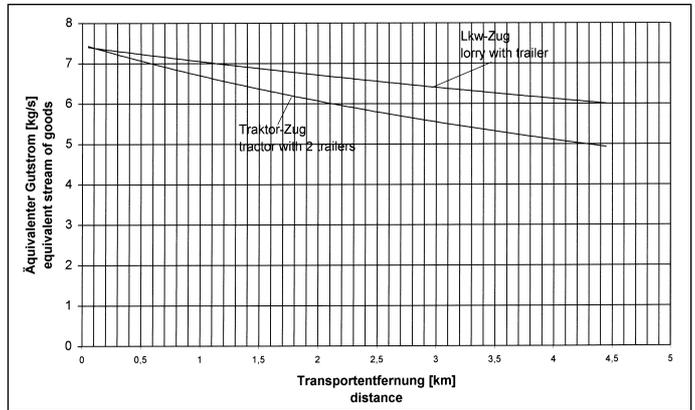
Tab. 2: Berechnete Kennwerte für die betrachteten Fahrzeuge

Table 2: Computed parameters for vehicles examined

	Traktorzug	Lkw-Zug
maximal übertragbare Zugkraft N	55995	78480
maximal befahrbare Steigung Zug in °	8,2	11,5
maximal befahrbare Steigung Zugfahrzeug in °	53,1	26,3
mittlere Fahrgeschwindigkeit Lastfahrt Landstraße km/h	16,4	38,5
mittlere Fahrgeschwindigkeit Leerfahrt Landstraße km/h	36,9	60
mittlere Fahrgeschwindigkeit Lastfahrt Feldweg km/h	9,8	23,4
mittlere Fahrgeschwindigkeit Leerfahrt Feldweg km/h	25,7	56,0
mittlerer Verbrauch Landstraße l/100 km	212	172
mittlerer Verbrauch Feldweg l/100 km	343	282
mittlere Leistungsausnutzung %	98	97

Bild 6: Äquivalente Gutströme für die untersuchten Fahrzeuge

Fig. 6: Equivalent mass flow for vehicles investigated



entfernung nach *Bild 6*. Wie zu erkennen ist, ist der Lkw-Zug dem Traktor-Zug in der Transportleistung überlegen. Für die durchschnittliche Hof-Feld-Entfernung von 3,5 km [4] liegt der Vorteil in der Größenordnung von 15 %.

Der Traktor hat aufgrund seines aufwendigeren Getriebes und der geringeren Geschwindigkeitsspanne eine etwas bessere Leistungsausnutzung. Der Unterschied der beiden Fahrzeuge ist jedoch gering.

Ebenso ergibt sich ein deutlicher Unterschied im Kraftstoffverbrauch zwischen 40 und 60 l/100 km Fahrtstrecke unter den angenommenen schweren Bedingungen. In der Praxis dürfte dieser Unterschied geringer sein. Bei Zugrundelegen des Wertes von 50 l Unterschied und einem Dieselpreis von etwa 1,10 DM würde sich ab einer Fahrtstrecke zwischen etwa 18000 und 47000 km der Unterschied in den Abschreibungen amortisieren. Unter realen Bedingungen des landwirtschaftlichen Verkehrs dürfte dieser Wert noch deutlich höher liegen. [3] nennt Praxisverbräuche von 20 bis 50 l/100 km für den Traktor, die für den Lkw-Zug um 30 % niedriger sind. Danach müsste die Fahrtstrecke etwa verfünffacht werden, um den Lkw über den Dieselpreis zu amortisieren.

Schlussfolgerung

Der Traktor-Zug von zwei 18 t Zweiachsanhängern und der Lkw-Zug stellen beide eine Möglichkeit dar, eine Zuladung von 24 t zu transportieren. Der Traktor ist jedoch aufgrund seiner Auslegung als Zugfahrzeug für Transporte weniger geeignet, da er seine Motorleistung eigentlich bei geringen Fahrgeschwindigkeiten und hohen Zugkräften übertragen sollte und eine geringere Motorleistung für landwirtschaftliche Zugarbeiten nötig ist als in einem modernen Lastzug installiert ist. Durch die dahin optimierte Getriebeabstufung und das Erreichen der Höchstgeschwindigkeit bei Nenndrehzahl ergibt es sich, dass bei Transportfahrten häufig auf der Abregellinie des Motors gefahren wird. Durch einen drehzahlensenkenden

Transportgang (mit Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit) ließe sich hier unter Umständen eine gewisse Verbesserung erzielen. Eine weitere Problematik stellt die maximale Zuglänge von 18 m dar, die mit zwei Anhängern schnell überschritten wird.

Wichtigstes Entscheidungskriterium für die Transportmechanisierung werden jedoch stets die Kosten bleiben. Bei mittleren Hof-Feld-Entfernungen in der Größenordnung von 3,5 km sind die insgesamt zurückgelegten Strecken der Transportfahrzeuge oft nicht so groß, dass sich der Einsatz von Lkw aufgrund der hohen Anschaffungskosten sowie zusätzlicher Kosten aufgrund von Steuer und Versicherung lohnen würde. Interessant dürfte er in der Landwirtschaft vor allem für spezielle Anwendungen mit hoher Transportentfernung, wie etwa in der Rübenabfuhr sein, oder wenn sich dadurch zumindest eine Arbeitskraft einsparen lässt.

Literatur

- [1] Schulze, A.: Theorie des Militärkraftfahrzeugs. Militärverlag der DDR, Berlin, 1988
- [2] Fröba, N.: Landwirtschaftlicher Transport. Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, Sonderdruck aus der Kartei 3.0, Rendsburg-Osterrönfeld, 1999
- [3] Hoogen, H. und K.-H. Kromer: Verfahrenstechnik des Zuckerrübenverkehrs in Transport und Umschlag landwirtschaftlicher Güter. VDI-MEG Kolloquium Agrartechnik, Heft 26, Max-Eyth-Gesellschaft im VDI und Institut für Agrartechnik und Landeskultur der Martin-Luther-Universität Halle
- [4] Weise, G. und H. Bernhardt: Befragung von Landwirten zum betrieblichen Transport in Deutschland; DFG Projekt, Vorabergebnisse
- [5] Herrman, A.: Modellierung verfahrenstechnischer Bewertungskriterien bei unterschiedlicher Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen. Habilitation, Halle, 1999, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI Nr. 335